

*Congreso Internacional sobre Agricultura de Conservación
Córdoba, 9-11 noviembre, 2005
El Reto de la Agricultura, el Medio Ambiente, la Energía y la Nueva Política Agraria Común:429-436*

Evolución de las producciones y de los parámetros químicos y bioquímicos del suelo, en agrosistemas de cereales, sometidos a diferentes manejos de suelo durante 21 años

CARLOS LACASTA DUTOIT

CSIC. Centro de Ciencias Medioambientales. Finca Experimental “La Higuera”. 45530
Santa Olalla. Toledo. España. E-mail: csic@infonegocio.com

RAMÓN MECO MURILLO

*Servicio de Investigación Agraria, de la Consejería de Agricultura de Castilla La Mancha. C/
Pintor Matías Moreno, 4, 45071 Toledo. E-mail: ramonmeco@jccm.es.*

NICOLÁS MAIRE

Ecocambio, C/ Reloj, 1, 13300 Valdepeñas, Ciudad Real.

Resumen

Desde 1983 en la Finca Experimental “La Higuera” en Santa Olalla, Toledo, España, se desarrolla un experimento de larga duración de Agricultura de Conservación (21 años), donde los objetivos es el estudio de distintos manejos de laboreo en la productividad de los cultivos y su influencia en las propiedades químicas y bioquímicas del suelo.

El experimento se desarrolla en un suelo arcilloso (Vertisol) y esta sometido a una rotación de dos hojas una de ellas es siempre cereal y la otra ha variado entre veza, girasol o garbanzo. Las variables de laboreo han sido: vertedera, chisel, herbicida+cultivador, y no laboreo. Los resultados medios de los 21 años no muestran diferencias en la producción, debido al laboreo, en los cultivos de cebada, veza y girasol y si en el garbanzo que da una diferencia de un 20% a favor del laboreo convencional de vertedera. Con respecto a las propiedades químicas y bioquímicas se aprecia que en las técnicas de laboreo de conservación hay un aumento de la materia orgánica, nitrógeno, fósforo soluble, actividad basal microbiana, y de biomasa microbiana Concluyendo que para suelos arcillosos sometidos a rotaciones de cultivo el laboreo de conservación es el más recomendable ambiental y económicamente.

Palabras clave: cebada, veza, girasol, garbanzo, rotaciones y labores

Introducción

Durante las últimas décadas, se han llevado a cabo numerosísimos experimentos en distintos cultivos anuales, comparando sistemas convencionales de laboreo con otros que implican diferentes modalidades de laboreo de conservación, incluyendo el no laboreo o siembra directa. Los efectos del laboreo de conservación sobre el rendimiento de una serie de cultivos han sido variables dependiendo de muchos factores (Domínguez 1997).

La variabilidad en las producciones depende principalmente de la climatología, del suelo, época de siembra y malas hierbas. En los ambientes semiáridos donde la meteorología tiene una gran variabilidad pluviométrica los experimentos de larga duración dan una gran fiabilidad a los resultados, además de permitir evaluar la sostenibilidad de los métodos ensayados y estudiar las relaciones causa-efecto que gobiernan las tendencias de la productividad en un ambiente concreto.

En los ambientes semiáridos mediterráneos, la cantidad de materia orgánica en los suelos se considera un índice de calidad en el manejo de las tierras agrícolas. El laboreo del suelo altera el emplazamiento de los residuos de cultivo, la humedad y las propiedades físicas del suelo, lo cual a su vez puede afectar a las propiedades químicas y microbiológicas del mismo. Cuando se voltea un suelo se incrementan notablemente las pérdidas de materia orgánica puesto que se acelera su descomposición, al incorporar los restos orgánicos frescos a un medio donde existen unas condiciones de humedad y aireación óptimas para la proliferación de microorganismos (Giráldez, 1997). El principal efecto del laboreo del suelo en la actividad microbiana se debe a los cambios en el estado de aireación del suelo. En los suelos labrados la difusión del oxígeno permite la actividad de los organismos a una profundidad mayor que en los suelos no labrados (Bello & López Fando, 1997).

En este trabajo exponemos los resultados de rendimiento por ha de los cultivos de cebada, heno de veza, girasol y garbanzos, sometidos a rotación y sobre un suelo arcilloso, así como los cambios producidos en los parámetros químicos y bioquímicos del suelo.

Materiales y Métodos

El experimento se ha realizado en la Finca Experimental “La Higuera” Santa Olalla, Toledo, España, perteneciente al Centro de Ciencias Medioambientales del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

El suelo es un vertisol, de más de 1 m de profundidad, arcilloso, estructura estable y con gran capacidad de retención de agua, 130 l/m², y los mecanismos de expansión y contracción supera las posibles consecuencias de la suela de labor (Giraldez *et al.* 1986).

Los cultivos, han sido **Cebada**: cv Reinette, de dos carreras, sembrada en noviembre con 130 kg/ha. **Veza**: Veza común (*Vicia sativa* L), sembrada en noviembre con 100 kg/ha más 10 % de avena. **Girasol**: cv Toledo-2, sembrado en marzo-abril y a una densidad de 40.000 plantas/ha. **Garbanzo**: cv Eulalia, sembrado en febrero-marzo y a una densidad de 35 plantas/m².

El diseño experimental es de bloques completos al azar con 4 tratamientos y tres repeticiones. Con el fin de llevar los dos cultivos de las rotaciones al mismo tiempo se dividió por la mitad, resultando un diseño compuesto por dos bloques al azar paralelos, una para cada cultivo. El total de parcelas son 24 de 80 x 8,5 m cada una. Los tratamientos son: Vertedera (labor de vertedera de 25 cm de profundidad y dos pases de cultivador), Chisel (labor de chisel y dos pases de cultivador), Mínimo Laboreo (herbicida de contacto no residual y un pase de cultivador), No-laboreo (herbicida de contacto no residual y siembra directa)

Los primeros 8 años de experimentación (83-91) la rotación fue de cebada-heno veza, los siguientes 8 años (91-99), la rotación fue cebada-girasol y los últimos 5 años (99-04), la rotación ha sido de cebada-garbanzo. Todos los tratamientos se sometieron al mismo manejo de cultivo, se utilizaron las mismas dosis y productos para la siembra, fertilización y control de malas hierbas. La fertilización se ajustó aproximadamente a las siguientes formulas; para la cebada 80-60-30 y para los otros cultivos de la rotación, 25-60-30.

Para el estudio de las propiedades químicas y bioquímicas, se tomaron muestras de suelo de los primeros 20 cm, antes de iniciar todos los trabajos previos a la siembra de 2003 (septiembre), y se determinaron: pH (método Coleman), materia orgánica (método Walkley y Black), Carbonato cálcico (Método Bernard), nitrógeno total (método Kjeldahl), potasio (método Jackson) fósforo (método de Burriel y Hernando). Dentro de los parámetros bioquímicos se midió: Actividad inducida ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Actividad basal ($\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Materia orgánica mineralizada: (μg

MO g⁻¹ días⁻¹⁵). ATP (adenosina-trifosfato): biomasa microbiana calculada por gr de suelo seco (µg ATP g⁻¹). Cociente metabólico: actividad inducida (CO₂) por unidad de biomasa (ATP).

Los resultados fueron sometidos a un análisis de la varianza y las diferencias entre tratamientos fueron separadas por medio del test de Tukey a un nivel de probabilidad de P< 0,05. Los valores seguidos por letras distintas en una misma fila en los cuadros de resultados difieren significativamente. Los valores en negrita son los valores más altos. ns: no significativo, (**) significativo P<0,05, (***) significativo P<0,01.

Dentro de la meteorología habría que destacar la distribución aleatoria de las lluvias, que hace que cada año se den condiciones experimentales diferentes. Las precipitaciones han estado comprendidas entre los 275 mm del año 94-95 y los 649 mm del año 00-01. Ha habido 13 de los 21 años con precipitaciones superiores a los 350 mm en los meses de otoño-invierno, produciendo problemas de asfixia, apelmazamiento de suelo, erosión, problemas con la fecha de siembra y la nascencia; y de los 21 años ha habido 6, con un severo déficit hídrico.

Resultados

En el cultivo de cebada cuando esta en rotación con otro cultivo, los resultados son positivos para las técnicas de laboreo de conservación, bien porque producen más o porque son más económicas. De los 21 años (Tabla 1), 12 no muestran diferencias significativas entre los diferentes manejos al suelo, 4 años (85-86, 99-00, 02-03 y 03-04), el laboreo convencional con vertedera, produce más y con diferencias significativas respecto a las técnicas de laboreo de conservación (mínimo laboreo y no Laboreo). La razón está en que estos años, las bajas precipitaciones de invierno no apelmazaron el suelo y pudo gestionar mejor las precipitaciones de primavera. En cambio de los 21 años hay cinco (87-88, 92-93, 93-94, 95-96 y 98-99), en los que las técnicas de laboreo de conservación fueron mejores significativamente con respecto a la labor de vertedera, y en todos ellos está relacionado con la mayor acumulación de agua en estos sistemas (mayor cantidad de microporos) y por tanto, retraso del déficit hídrico en primavera. El tratamiento que llamamos chisel, se encuentra en el medio de los manejos y así lo demuestran los resultados a excepción de los años 93-94, 02-03 y 03-04, los demás años no se presentaron diferencias significativas con el tratamiento de más producción. Cuando consideramos los valores medios de los 21 años comprobamos que no hay prácticamente diferencias entre tratamientos.

En la producción de veza forraje y girasol (Tabla 2 y 3) no se dieron diferencias significativas ningún año por efecto de las labores. Con respecto a los garbanzos (Tabla 4) la producción parece beneficiarse con las labores de vertedera obteniéndose entre un 10 a un 15% más de producción.

En general los valores de los parámetros químicos estudiados (Tabla 5) han aumentado ligeramente en los últimos 20 años, menos en el tratamiento de vertedera donde han disminuido. Hay una relación inversa entre laboreo y algunos parámetros químicos del suelo, mayor labor menor cantidad de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, llegando a mostrar diferencias significativas entre la labor de vertedera y los tratamientos de laboreo de conservación.

Dentro de los parámetros bioquímicos medidos, los resultados (Tabla 6) indican, que existe una mayor cantidad de biomasa microbiana en los manejos de laboreo de conservación que en el tratamiento de vertedera, esta situación es debida a las mayores disponibilidades de materia orgánica en el suelo, aunque no existen diferencias significativas en la eficiencia metabólica (cociente metabólico) ni en la actividad microbiana, en cambio se nota una tendencia positiva en los manejos de conservación.

Un experimento de larga duración como el que estamos comentando se puede obtener otras informaciones, por ejemplo: que la década de los años ochenta fue meteorológicamente más beneficiosa para los cultivos herbáceos de secano que la década de los noventa, donde el número de años con producciones inferiores a los dos mil kilos por hectárea es del 50% frente al 20% de los años ochenta.

Tabla 1. Producción en kg/ha de cebada en rotación en un suelo arcilloso

AÑOS	Vertedera	Chisel	Mínimo Laboreo	No Laboreo	Media
83-84	5427a	5498a	5656a	5339a	5480
84-85	5191a	5184a	5393a	5246a	5254
85-86	3331a	3220ab	2874c	3033bc	3115
86-87	3415a	3829a	3665a	3840a	3687
87-88	2801b	3333ab	3599a	3534ab	3317
88-89	1375a	1117a	1342a	1079a	1228
89-90	2856a	2251a	2336a	2695a	2535
90-91	2756a	2490a	2768a	2703a	2679
91-92	229ab	50b	73b	458a	203
92-93	725b	1266ab	1321ab	1846a	1290
93-94	2439b	1859b	2607ab	3025a	2483
94-95	0	0	0	77	19
95-96	2973b	3097ab	3273ab	3325a	3167
96-97	2583a	2200a	2333a	2117a	2308
97-98	2631a	2635a	2755a	2717a	2685
98-99	43b	38b	36b	153a	68
99-00	4293a	4070ab	3810ab	3401b	3894
00-01	651a	682a	533a	634a	625
01-02	4422a	4524a	4666a	4548a	4540
02-03	4188a	3088b	3068b	2882b	3307
03-04	4649a	3262b	3692b	3948b	3888
MEDIA	2616	2557	2657	2695	2656

Tabla 2. Producción en kg/ha de heno de forraje en un suelo arcilloso

AÑOS	Vertedera	Chisel	Mínimo Laboreo	No Laboreo	Media
83-84	5574a	5358a	5540a	5052a	5381
84-85	3353a	3557a	3335a	3535a	3445
85-86	2115a	1867a	1827a	1756a	1891
86-87	3256a	3394a	3136a	3363a	3287
87-88	4064a	4308a	4325a	4217a	4229
88-89	600a	472a	566a	485a	531
89-90	6464a	5684a	6410a	5795a	6088
MEDIA	3632	3520	3591	3458	3550

Tabla 3. Producción en kg/ha de pipas de girasol en un suelo arcilloso

AÑOS	Vertedera	Chisel	Mínimo Laboreo	No Laboreo	Media
90-91	675a	866a	702a	800a	675
91-92	1158a	1035a	1137a	1293a	1158
92-93	758a	495a	526a	822a	758
93-94	717a	817a	1175a	1167a	717
94-95	0a	0a	0a	0a	0
95-96	1474a	1402a	1550a	1520a	1474
96-97	1205a	1217a	1216a	1128a	1205
97-98	975a	1265a	1102a	812a	1039
MEDIA	870	887	926	943	907

Tabla 4. Producción en kg/ha de garbanzos en un suelo arcilloso

AÑOS	Vertedera	Chisel	Mínimo Laboreo	No Laboreo	Media
98-99	809a	778a	901a	864a	838
99-00	859ab	934ab	1032a	584b	852
00-01	445a	468a	423a	553a	472
01-02	1116a	596b	938ab	852ab	876
02-03	841a	692ab	602b	711ab	712
03-04	1266a	813b	883b	720b	921
MEDIA	889	714	797	714	778
%	100	80	90	80	

Tabla 5. Efecto del manejo del suelo sobre diferentes parámetros químicos del suelo después de 20 años de experimentación.

Determinaciones químicas	Análisis 1983	Vertedera	Chisel	Mínimo Laboreo	No Laboreo	Efecto Laboreo
Carbono %	0,66	0,57b	0,64ab	0,73a	0,76a	***
Materia Orgánica %	1,07	0,99b	1,10ab	1,25a	1,31a	***
Nitrógeno %	0,076	0,073b	0,090a	0,093a	0,092a	***
pH	7,15	7,36	7,13	7,32	7,25	ns
Fósforo (P₂O₅) ppm	222	205b	254ab	284a	270a	***
Potasio (K₂O) ppm	280	324	343	348	394	ns
Magnesio ppm	314	276	261	262	307	ns
Calcio ppm	6567	7105	6740	6580	7157	ns

Tabla 4. Efecto del manejo del suelo sobre diferentes parámetros bioquímicos del suelo

Determinaciones bioquímicas	TRATAMIENTOS				Efecto Laboreo
	Vertedera	Chisel	Mínimo Laboreo	No Laboreo	
Act. inducida	1,84	2,40	2,16	2,68	ns
Act. basal	2,91	3,57	3,49	3,53	ns
M.O. mineralizada	383	486	455	511	ns
ATP	764b	940ab	1077a	889ab	***
Coc. metabólico	2,41	2,55	2,01	3,01	ns

Discusión

Los resultados obtenidos, indican que los suelos arcillosos se adaptan perfectamente a los técnicas de laboreo de conservación en el cultivo de cebada, heno de veza y girasol, como ya indicaba Giraldez *et al.* (1986), pero el garbanzo al desarrollarse principalmente en primavera tiene la dificultad de la competencia con la flora arvense y un suelo que empieza a tener más problemas de penetrabilidad y por tanto la labor de vertedera al disgregar el suelo favorece el desarrollo del cultivo y aumenta su capacidad competitiva con las malas hierbas.

El aumento de la materia orgánica por efecto de no labrar el suelo y por dejar todos los residuos de la cosecha de la cebada, responde a lo esperado y coincide con lo observado por otros autores (López Fando & Bello, 1997; González Fernández, 1997 y Giráldez, 1997).

El aumento del fósforo y potasio disponible en las parcelas no labradas, coincide con lo obtenido por González Fernández (1997) en un suelo arcilloso en el sur de España, este aumento

lo interpreta por el efecto de la acumulación del fósforo y potasio procedente de los abonos y restos orgánicos.

La respiración del suelo se correlaciona con las disponibilidades de carbono y este es superior en las técnicas de conservación y la biomasa microbiana se encuentra en mayor cantidad en los sistemas de no laboreo, ya que estos proporcionan un hábitat más favorable a los microorganismos (Bello & López Fando).

Agradecimientos

A la Consejería de Agricultura de la Junta de Comunidades de Castilla La Mancha por la financiación del ensayo Demostración Permanente de Laboreo de Conservación y a Luis Martín de Eugenio y José Ramón Vadillo, por su dedicación a los trabajos experimentales de campo.

Referencias

Domínguez Jiménez, J. 1997. El laboreo de conservación en cultivos anuales: efecto sobre la producción. En *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*, pp 271-289. Eds. L García Torres y P González Fernández. Publicado por la Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos.

Giráldez Cervera J V. 1997. Efectos de los diferentes sistemas de laboreo sobre las propiedades físicas del suelo. En *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*, pp 53-72. Eds. L García Torres y P González Fernández. Publicado por la Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos.

Giraldez J V, González P, Fereres E, Agüera J, García M, Gil D, Insua F, López J, Martín I, Puig M Sanz J. 1986. Aprovechamiento del agua en distintos sistemas de labores. Cinco años de experiencia en el Valle del Guadalquivir. *I Simposium sobre Mínimo Laboreo en Cultivos Herbáceos.*, Madrid, pp. 11-31.

González Fernández P. 1997. Efectos del laboreo sobre la materia orgánica y las propiedades químicas del suelo. En *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*, pp 41-48. Eds. L García Torres y P González Fernández. Publicado por la Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos.

López Fando C, Bello A. 1997. Efectos de los sistemas de laboreo en la biología del suelo. En *Agricultura de Conservación: Fundamentos agronómicos, medioambientales y económicos*, pp 203-220. Eds. L García Torres y P González Fernández. Publicado por la Asociación Española Laboreo de Conservación/Suelos Vivos.